



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 04 861 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
H 03 K 17/08
H 03 K 17/687
H 01 L 23/62

②1 Aktenzeichen: 197 04 861.7
②2 Anmeldetag: 10. 2. 97
④3 Offenlegungstag: 27. 8. 98

DE 197 04 861 A 1

⑦1 Anmelder:
Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,
DE

⑥2 Teil in: 197 45 040.7

⑦2 Erfinder:
Hille, Peter, Dr., 64293 Darmstadt, DE

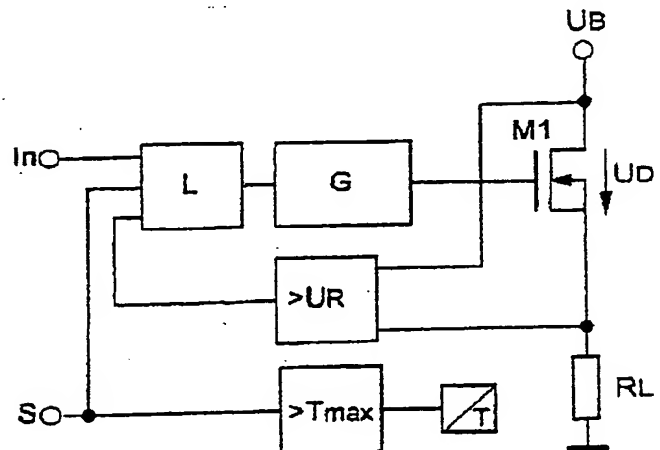
⑤6 Entgegenhaltungen:
DE 43 20 021 A1
DE 41 22 653 A1
US 48 96 245
EP 07 49 208 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Steuerbare Schalteinrichtung, Anordnung und Verfahren zum Betreiben einer Schalteinrichtung, insbesondere für Leistungshalbleiter

⑤7 Die Erfindung betrifft eine steuerbare Schalteinrichtung mit mindestens einem kontaktlosen Schalter, welcher mindestens eine gegen elektrische und/oder thermische Überlast zu schützende aktive Zone aufweist, wobei die Schalteinrichtung mindestens einen Lastkreis und einen Steuerkreis umfaßt und der Steuerkreis Mittel zur Überwachung der Restspannung und der Temperatur des Schalters aufweist sowie eine Anordnung als auch Verfahren zum Betreiben der Schalteinrichtung.



DE 197 04 861 A 1

Die Erfindung betrifft eine steuerbare Schalteinrichtung mit wenigstens einem kontaktlosen Schalter, eine Anordnung zum Überlastschutz einer derartigen Schalteinrichtung sowie ein Verfahren zum Betreiben von Schalteinrichtungen, insbesondere für Hochleistungshalbleiter.

Es ist bekannt, elektrische Verbraucher mit hoher Leistung durch Elemente wie mechanische Relais zu schalten. Diese sind jedoch nur bedingt zuverlässig und besonders gegenüber mechanischen Belastungen empfindlich. In zunehmendem Maße werden integrierte Halbleiterschalter zum Schalten von elektrischen Verbrauchern mit hoher Leistung eingesetzt, da diese Halbleiterschalter eine höhere Zuverlässigkeit und eine geringe Empfindlichkeit gegenüber mechanischen Erschütterungen aufweisen. Der Nachteil liegt jedoch darin, daß diese Bauelemente ihrer p/n-Sperrschichten wegen gegenüber elektrischer und/oder thermischer Überlastung erheblich empfindlicher sind als mechanische Relais.

Dauerhafter Betrieb bei hohen Temperaturen nahe der maximal zulässigen Sperrschichttemperatur beschleunigt die Degradation des Halbleiter-Bauelements, zudem ist die Empfindlichkeit gegenüber anderen Überlastbedingungen erhöht. Überstrom gefährdet das Halbleiter-Bauelement auf zwei Arten. Einerseits kann es durch Überschreiten der zulässigen Stromdichten zur Schädigung der Metallisierung und/oder des Bondsystems kommen. Andererseits besteht die Gefahr, daß der Überstrom zu einer extrem stark ansteigenden Verlustleistung und damit das Überschreiten der maximalen Sperrschichttemperatur zum Bauelementausfall führt.

Überlastschutzeinrichtungen für Leistungshalbleiter sind in verschiedenen Varianten bekannt. Der Schutz konzentriert sich im wesentlichen auf die Überwachung der Sperrschichttemperatur (on-Chip-Temperaturmessung), wie in DE 41 22 653 C2 offenbart oder die Überwachung des Laststroms des Leistungshalbleiters, wie aus DE 43 20 021 A1 bekannt ist.

Bei monolithisch integrierten Leistungshalbleiterschaltern, sogen. Smart-Power-Schaltkreisen, findet häufig eine Temperaturüberwachung mit einem Sensor Verwendung, der in thermischem Kontakt zu der den Hauptstrom schaltenden Halbleitersperrschicht steht. In der Patentschrift DE 41 22 653 C2 ist offenbart, einige der Schaltzellen der Schalteinrichtung besonders schwach zu dimensionieren und dort deren Sperrschichttemperatur direkt zu messen, so daß an diesen künstlich erzeugten Schwachstellen die höchste Bauelementtemperatur gemessen wird. Bei Überschreiten einer maximalen lokalen Bauelementtemperatur wird der Schalter abgeschaltet, ohne daß die anderen Schaltzellen des Schalters thermisch überlastet werden. Diese Anordnung stellt jedoch erhebliche Anforderungen an die Technologie dar und erfordert z. B. zusätzliche Kontaktanschlüsse für den Temperatursensor. Die Alternative, die Bauelementtemperatur sperrschichtfern, z. B. am Gehäuse, zu bestimmen, führt wegen der großen räumlichen Distanz zu etwaigen thermisch belasteten Sperrschichten zu nicht tolerierbaren Zeitverzögerungen bei einem plötzlichen Temperaturanstieg und damit letztlich zur Zerstörung der Sperrschicht.

Aus der DE 43 20 021 A1 ist bekannt, mit der Methode der Restspannungsüberwachung am Schalter die Verlustleistung an der Sperrschicht zu begrenzen. Diese Methode setzt jedoch voraus, daß das Bauelement im Fehlerfall in die Sättigung geht und hinreichend hohe Spannungen auftreten. Dies ist für Bauelemente höherer Leistungsklasse mit wenigen m Ω Einschaltwiderstand, wie sie z. B. für Kfz-Leistungselektronik verlangt wird, nicht erfüllt. Die verfügbaren Ansteuerschaltkreise mit einer Restspannungsüberwachung für diese Leistungsklasse nutzen daher den Schalter nur in einem engen Leistungsrahmen aus. Ein weiteres Problem stellt die Tatsache dar, daß die späteren Umgebungsbedingungen für den Schalters unbekannt sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Feststellung kritischer Lastzustände bei kontaktlosen Schaltern, insbesondere Leistungshalbleiterschaltern, zu vereinfachen und den Überlastschutz für diese Schalter zu verbessern.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Weiterführende und vorteilhafte Ausgestaltungen sind den Unteransprüchen und der Beschreibung zu entnehmen. Durch die Erfindung ist es möglich, die maximal zulässige Restspannung, die ein Maß für kritische Lastzustände ist, mit weniger Aufwand zu ermitteln und zu überwachen.

Die Erfindung geht davon aus, bei einem Schalter, welcher Last- und Steuerkreis aufweist, durch die Kombination von Restspannungsüberwachung und Temperaturüberwachung die aktive, zu steuernde Zone J bzw. die aktiven, zu steuernden Zonen J des Schalters vor Überlastung zu schützen. Durch eine erfindungsgemäße Anordnung zur Temperaturmessung und ein vorteilhaftes Kompensationsverfahren wird der Überlastschutz weiter verbessert.

Der Steuerkreis wird erfindungsgemäß so dimensioniert, daß zur Begrenzung des maximalen, im Schalter fließenden Laststroms die thermischen Widerstände berücksichtigt werden, welche den Wärmeabfluß zwischen der und/oder den aktiven Zonen J im Innern des Schalterkörpers, die durch Verlustleistung besonders in Mitleidenschaft gezogen sind und einem Temperatursensor an der Außenwelt des Schalterkörpers behindern. Damit wird erreicht, daß die maximal zulässige Temperatur an der aktiven, zu steuernden Zone J des Schalters nicht überschritten werden kann.

Die Erfindung kann bevorzugt für Schalter eingesetzt werden, welche mit Verlustleistung behaftet sind, besonders bevorzugt für MOSFET-Schalter.

Vorteilhaft ist, daß durch die erfindungsgemäße Dimensionierung derartige Schalter in einem weiteren Leistungsreich ausgenutzt werden können als üblich. Im Gegensatz zum Stand der Technik ist die Dimensionierung nicht mehr eine "Worst-Case"-Abschätzung. Der maximale Laststrom im Schalter wird zuverlässig begrenzt. Daher ist es möglich, den Schalter im Dauerbetrieb nahe der Maximaltemperatur zu betreiben, ohne daß kurze, nicht oder nur verzögert erkennbare Temperaturspitzen eine aktive, zu steuernde Zone J im Schalterkörper zerstören können. Es entfällt die Notwendigkeit einer schnellen Temperaturmessung zur Temperaturüberwachung, insbesondere von Temperaturspitzen an der aktiven Zone J, so daß zweckmäßigerweise preiswerte, einfache und auch langsamere Temperaturmeßverfahren eingesetzt werden können.

Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß es durch die erfindungsgemäße Dimensionierung des Schalter-Steuerkreises möglich wird, die Temperatur des Schalters nicht sperrschichtnah, sondern zweckmäßigerweise gehäusenah zu messen, was die Meßanordnung vereinfacht. Vorteilhafterweise wird dabei zur Temperaturmessung ein Bipolar-Transistor oder eine Diode eingesetzt.

Als besonders günstige Anordnung erweist es sich, einen der elektrischen Kontakte des Temperatursensors sowohl elektrisch als auch thermisch zumindest mittelbar am Schalter und/oder am Schaltergehäuse anzuordnen. Besonders geeignet sind Transistoren oder Dioden, zweckmäßigerweise mit im wesentlichen flächigen Kontakten, die eine besonders gute thermische Ankopplung an den Schalter ermöglichen. Eine ganz besonders bevorzugte Anordnung ist die direkte Verbindung des Kollektoranschlusses eines vorzugsweise verwendeten Bipolar-Transistors mit dem Drain eines vorzugsweise verwendeten MOSFET-Schalters. Zusammen mit der erfindungsgemäßen Dimensionierung des Schalter-Steuerkreises stellt diese einfache und billige Temperaturmeßanordnung eine weitere Vereinfachung und Verbesserung der Überlastüberwachung dar.

Der Temperaturmeßpunkt kann z. B. durch eine Leiterbahn, eine Sperrschicht, ein Gehäuse oder dergl. eines oder mehrerer zu überwachender Schalter gebildet sein. Diese vorteilhafte Art der Temperaturmessung ist für verschiedene Bauelemente geeignet und nicht auf die Anwendung bei Halbleiterschaltern beschränkt.

Eine besonders vorteilhafte Weiterentwicklung der Erfindung besteht darin, die Temperaturabhängigkeit der Schaltschwelle des Schalter-Steuerkreises zu kompensieren. Die Temperatur kann dabei sperrschichtnah oder sperrschichtfern gemessen werden. Das erfindungsgemäße Verfahren kann daher vorteilhaft nicht nur bei der erfindungsgemäßen Anordnung, sondern auch bei Schaltern, insbesondere Halbleiterschaltern, eingesetzt werden, bei denen zumindest mittelbar die Sperrschichttemperatur selbst überwacht wird.

Im folgenden sind die Merkmale, soweit sie für die Erfindung wesentlich sind, eingehend erläutert und anhand von Fig. näher beschrieben. Es zeigen

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Anordnung zum Überlastschutz mit Restspannungs- und Temperaturüberwachung,

Fig. 2 einen Schalter mit aktiver Zone und Laststrom,

Fig. 3 den Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Anordnung mit lokalen Temperaturen und Wärmewiderständen,

Fig. 4 den Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Anordnung mit Temperatursensor und zugehörigen Wärmewiderständen,

Fig. 5 eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung,

Fig. 6 eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung,

Fig. 7 eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung,

Fig. 8 eine Aufsicht und den Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Anordnung,

Fig. 9 die Abhängigkeit der Basis-Emitterspannung eines Transistors von der Temperatur,

Fig. 10 die Abhängigkeit des Einschaltwiderstands eines Transistors von der Temperatur,

Fig. 11 eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung zur Kompensation der Schaltschwelle des Steuerkreises eines Schalters,

Fig. 12 eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung zur Kompensation der Schaltschwelle des Steuerkreises eines Schalters,

Fig. 13 eine Beschaltung einer erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung zur Kompensation der Schaltschwelle des Steuerkreises eines Schalters.

Eine erfindungsgemäße Anordnung zum Überlastschutz ist modellhaft am Beispiel einer Anordnung mit einem MOSFET-Schalter in Fig. 1 dargestellt. Die Erfindung ist nicht auf diese einfache Anordnung beschränkt, sie eignet sich vielmehr für Schalter, welche im Betrieb eine Restspannung und somit eine Verlustleistung aufweisen. Bevorzugt weist der Schalter einen Lastkreis und einen Steuerkreis mit lastkreisseitigen und steuerseitigen elektrischen Eingängen und/oder Ausgängen auf. Ein Schalter M1 wird bei Überschreiten einer Schwellspannung U_R im Steuerkreis und/oder bei Überschreiten einer Grenztemperatur T_{max} des Schalters M1 zumindest mittelbar vorzugsweise über eine Logik L und einen Gatetreiber G abgeschaltet. Bevorzugt ist der Schalter M1 aus einem Leistungs-MOSFET gebildet. Die Temperatur T wird mit einem Sensor T erfaßt. Ein Komparator im Steuerkreis vergleicht die Restspannung am Schalter, insbesondere den lastkreisseitigen aktuellen Spannungsabfall U_{DS} am MOSFET M1, mit einer Komparatorschwelle U_R .

In Fig. 2 ist schematisch ein Schalter M1 mit einer im Schalterkörper angeordneten aktiven Zone J abgebildet. Die Temperatur der aktiven Zone J ist T_J . Ein Laststrom I_D fließt durch die aktive Zone J. Etwaige lastkreisseitige oder steuerseitige Anschlüsse sind nicht dargestellt.

Unterhalb der Sättigungsspannung des Schalters M1 ist der Spannungsabfall U_{DS} am Schalter M1 proportional zum Drainstrom I_D und dem Einschaltwiderstand $R_{DS, on}$, welcher eine bauelementtypische Größe des Schalters M1 ist. Im allgemeinen ist der Einschaltwiderstand $R_{DS, on}$ der Messung nicht zugänglich, sondern nur die Restspannung U_{DS} am Schalter. Es gilt $U_{DS} = I_D \cdot R_{DS, on}$.

Die Abhängigkeit der Restspannung U_{DS} kann zur Messung des Laststromes, insbesondere des Drainstromes I_D , am Einschaltwiderstand $R_{DS, on}$ und damit zu einer relativ genauen Überstromabschaltung genutzt werden. Vorteilhaft ist, den Laststrom I_D zu begrenzen. Die Abschaltung erfolgt schon bei vergleichsweise geringen Spannungen, so daß die Verlustleistung $P_V = U_{DS} \cdot I_D$ am Schalter M1 gering bleibt. Auch der Schutz eines etwaigen angeschlossenen Verbrauchers auf der Lastseite kann auf diese Art und Weise gewährleistet werden.

Die Komparatorschwelle U_R für die Restspannungsüberwachung kann durch die erfindungsgemäße Dimensionierung des Steuerkreises des Schalters M1 dergestalt verändert werden, daß der Schalter M1 wesentlich höhere Ströme zulassen kann als beim Einsatz üblicher, im Handel erhältlicher Steuerkreise für Schalter, welche mit einer konventionellen Restspannungsüberwachung betrieben werden.

Der maximale Laststrom, vorzugsweise der Drainstrom I_D bei einem MOSFET-Schalter M1, wird bevorzugt durch die maximal abführbare Verlustleistung $P_{V, max}$ bestimmt. Die prinzipiell zu berücksichtigenden Größen sind in Fig. 3 skizziert. Eine Schalteranordnung 1 mit einem Schalter M1 in einem Gehäuse 2 und einer Kühlfahne 3 ist auf einem Kühlkörper 4 angeordnet. Der Kühlkörper 4 kann durch einen metallischen Kühlkörper oder eine Platine oder dergl. gebildet sein. Die Temperatur der steuerbaren, aktiven, zu schützenden Zone J des Schalters M1, insbesondere der Sperrschicht des MOSFET-Schalters, ist T_J , die Temperatur der Rückseite des Gehäuses 2 ist T_C , die Umgebungstemperatur des Kühlkörpers ist T_A . $R_{th, JC}$ bezeichnet der Wärmewiderstand zwischen der aktiven Zone J des Schalters M1, insbesondere der Sperrschicht des MOSFET, zur Rückseite des Gehäuses 2, welche durch die Kühlfahne 3 gebildet wird. Die Kühl-

fahne 3 kann durch einen Bauelementanschluß des Schalters M1, insbesondere den Drainanschluß des MOSFET-Schalters, gebildet sein. $R_{th,CA}$ bezeichnet den Wärmewiderstand, welcher den Transport der Wärme von der Rückseite des Gehäuses 2 und/oder der Kühlfahne 3 durch einen etwaigen Kühlkörper 4 hindurch zur Umgebung der Schaltereinrichtung bestimmt. Der thermische Gesamtwiderstand $R_{th,JA}$ von der aktiven Zone J des Schalters M1 zur Umgebung ergibt sich als Summe der beiden einzelnen Wärmewiderstände. Für die maximal zulässige Verlustleistung $P_{V,max}$ ergibt sich

$$P_{V,max} = (T_{J,max} - T_{A,max}) / R_{th,JA,max} = I_{D,max}^2 \cdot R_{DS,on,max}$$

Diese Gleichung ist eine "Worst-Case"-Abschätzung für den schlimmsten eintretenden Fall mit der maximal zulässigen Temperatur der aktiven Zone J, $T_{J,max}$, der unter ungünstigsten Umgebungs- und/oder Betriebsbedingungen des Schalters M1 zu erwartenden maximalen Umgebungstemperatur $T_{A,max}$ und dem sicher erreichbaren maximalen Wärmewiderstand $R_{th,JA,max}$ zwischen aktiver Zone J und Umgebung der kompletten Schaltereinrichtung.

Der Wert des Einschaltwiderstands $R_{DS,on}$ des Schalters M1 ist Streuungen unterworfen und hängt insbesondere von der Temperatur des Schalters M1 ab. Für die Begrenzung der Verlustleistung P_V muß vom statischen Fall ausgegangen werden, wenn sich der Schalter M1 bereits auf die maximale Temperatur aufgeheizt hat. Nach dem Stand der Technik wird hier mit dem maximalen Einschaltwiderstand $R_{DS,on,max}$ gerechnet, wobei sich für die Restspannung $U_{DS,max}$, bei welcher der Schalter M1 schließlich durch den Steuerkreis abgeschaltet wird, dann in der "Worst-Case"-Abschätzung zur Dimensionierung des Steuerkreises ergibt

$$U_{DS,max} = \sqrt{((T_{J,max} - T_{A,max}) \cdot R_{DS,on,max} / R_{th,JA,max})}$$

Der Abschaltstrom ist temperaturabhängig und ergibt sich als

$$I_{D,max} = U_{DS,max} / R_{DS,on}(T_J)$$

Die nur schwer zu fällenden Aussagen über maximal erreichbare Betriebstemperaturen des Schalters M1 im Betrieb und das Problem, einen bestimmten Wärmewiderstand sicherstellen zu müssen, führen bei den bekannten Anordnungen entweder zur Überdimensionierung der Kühlung des Schalters M1, was zu erhöhtem Platzbedarf der gesamten Anordnung führt, und/oder aber zu einer geringen Ausnutzung des Schalters M1. Weiterhin kann der Abschaltstrom $I_{D,max}$ über den gesamten Temperaturbereich um den Faktor 2 bis 3 variieren. Durch die Erwärmung des Schalters ist zwar eine Abschaltung vor Erreichen der maximal zulässigen Verlustleistung $P_{V,max}$ garantiert, einer etwaigen Anwendung als elektronische Sicherung steht jedoch die große Stromvariation entgegen.

Fig. 4 zeigt die erfindungsgemäße Anordnung aus Fig. 3 mit einem Temperatursensor 5, welcher die Temperatur T_M an einem Temperaturmeßpunkt der Schaltungsanordnung 1 mißt. Vorzugsweise wird der Temperaturmeßpunkt gehäusenah gewählt. Ebenfalls geeignet kann als Temperaturmeßpunkt eine elektrische Leitfähigkeitsfläche des Schalters, vorzugsweise eine Leiterbahn oder ein Drainanschluß, gewählt werden. Zweckmäßig ist ein Temperaturmeßpunkt, der eine hinreichend gute thermische Ankopplung an die aktive Zone J des Schalters aufweist, insbesondere elektrische Zuführungen zum Schalterkörper.

Vereinfacht lassen sich bei diesem Aufbau vier Wärmewiderstände unterscheiden. Die Temperatur T_M am Temperaturmeßpunkt unterscheidet sich von der Gehäusetemperatur T_C aufgrund der Aufteilung des Wärmeflusses durch $R_{th,CM}$, dem Wärmewiderstand zwischen Gehäuse 2 und Temperaturmeßpunkt und $R_{th,MA}$, dem Wärmewiderstand zwischen Meßpunkt und Umgebung. Da der Wärmewiderstand $R_{th,CM}$ zwischen Gehäuse und Temperaturmeßpunkt klein ist, insbesondere bei Anordnung des Temperaturmeßpunktes auf einer elektrischen Leitfähigkeitsfläche des Schalters, unterscheidet sich die Meßtemperatur T_M nur geringfügig von der Gehäusetemperatur T_C .

Zur weiteren Betrachtung wird ein äquivalenter Wärmewiderstand $R_{th,JM}$ eingeführt, welcher den Temperaturunterschied zwischen aktiver Zone J des Schalters, insbesondere der Sperrschicht, und Temperaturmeßpunkt auf den Gesamtwärmefluß bezieht und die Betrachtung der schwer zugänglichen einzelnen Wärmewiderstände $R_{th,CM}$ und $R_{th,MA}$ ersetzt.

Es gilt

$$R_{th,JM} = (T_J - T_M) / P_V$$

$R_{th,JM}$ ist zwar von der Wärmeabfuhr an die Umgebung abhängig, die Abhängigkeit ist jedoch geringer als bei den real auftretenden Wärmewiderständen im und am Schalter-Bauelement. Je besser die Wärmeabfuhr ist, desto höher fällt der äquivalente Wärmewiderstand aus.

Genauere Aussagen lassen Simulationsrechnungen, Schätzungen oder Messungen zu. Insbesondere ist der äquivalente Wärmewiderstand $R_{th,JM}$ jedoch nicht von der Umgebungstemperatur T_A des Schalters abhängig.

Wird als maximal zulässige Umgebungstemperatur die maximal zulässige Temperatur $T_{M,max}$ am Temperaturmeßpunkt eingeführt und der maximale äquivalente Wärmewiderstand $R_{th,JM,max}$ verwendet, ergibt sich erfindungsgemäß eine neue Dimensionierungsvorschrift für den Steuerkreis des Schalters mit

$$U_{DS,max} = \sqrt{((T_{J,max} - T_{M,max}) \cdot R_{DS,on,max} / R_{th,JM,max})}$$

Die bei der Dimensionierung schwer im voraus zu bestimmende maximale Umgebungstemperatur $T_{A,max}$ ist durch eine leicht meßbare Temperatur $T_{M,max}$ und der schwer zugängliche Wärmewiderstand $R_{th,JA,max}$ ist durch den abschätzbaren äquivalenten Wärmewiderstand $R_{th,JM,max}$ ersetzt. Der Schalter wird abgeschaltet, sobald im Steuerkreis eine Spannung U_{DS} detektiert wird, die größer als eine vorgegebene Schwellspannung $U_R = U_{DS,max}$ ist und/oder sobald die

maximal zulässige Bauelementtemperatur $T_{M,max}$ überschritten wird. In einer Anordnung wie in Fig. 1 wird eine Komparatorschwelle U_R auf $U_{DS,max}$ eingestellt.

Die Vorteile der erfindungsgemäßen Dimensionierung des Schalter-Steuerkreises liegen zum einen darin, daß die Maximaltemperatur im Betrieb des Schalters keine reine Abschätzung mehr darstellt, sondern gemessen werden kann. Dabei kommt es nicht darauf an, ob die Temperaturmessung in unmittelbarem Kontakt zu einer aktiven Zone J, insbesondere einer Sperrschicht, im Schalterkörper durchgeführt wird. Vielmehr besteht jetzt die vorteilhafte Möglichkeit, die Temperatur am Äußeren des Schalters zu bestimmen, vorzugsweise am Gehäuse 2 oder an der Kühlfahne 3 des Schalters M1, ohne daß die Gefahr einer Überhitzung der aktiven Zone J durch kurzzeitige Verlustleistungsspitzen oder lokale Temperaturunterschiede besteht. Besonders zweckmäßig ist die Anordnung eines Temperatursensors an einem elektrisch und thermisch gut an die aktive Zone J des Schalters gekoppelten Kontakt-Anschluß. Zwar müssen die Unsicherheiten hinsichtlich der Wärmeabfuhr bei der Dimensionierung für den Dauerbetrieb noch berücksichtigt werden, haben jedoch keinen Einfluß auf die Funktion des Selbstschutzes des Schalters.

Die Vorteile der Erfindung zeigen sich ganz besonders bei Aufbautechniken mit geringer Wärmeabfuhr in die Umgebung, wie sie häufig beim Einbau von Leistungshalbleitern in Steuergeräte auftritt.

Der äquivalente Wärmewiderstand $R_{th, JM}$ ist nicht so stark wie der Wärmewiderstand zwischen aktiver Zone J und Umgebung $R_{th, JA}$ von den Umgebungsbedingungen des Aufbaus des Schalters abhängig. Außerdem sind die fertigungstechnischen Toleranzen bei der Herstellung eines Schalters relativ gering und $R_{th, JM}$ daher auch für eine Mehrzahl von Schaltern mit ausreichender Genauigkeit abschätzbar.

Die erfindungsgemäße Dimensionierung erlaubt vorteilhafterweise, daß zumindest kurzzeitig hohe Ströme im Schalter zugelassen werden können. Dies ermöglicht eine deutlich bessere Ausnutzung des Schalters.

Die Gefahr einer Überhitzung des Schalters besteht nicht, da die Verlustleistung im Gegensatz zur rein thermischen Abschaltung nach dem Stand der Technik begrenzt bleibt. Erfindungsgemäß werden als Dimensionierungskriterium für den Steuerkreis die statischen Wärmewiderstände herangezogen. Aus diesem Grund kann der Schalter hohe Einschaltstromspitzen tolerieren. Die an der aktiven Zone J anfallende Verlustleistung kann durch die die aktive Zone J umgebenden Wärmekapazitäten aufgenommen werden, bis $T_{M,max}$ am Meßpunkt erreicht ist. Vorteilhaft ist es, kurzzeitig die Überstromabschaltung des Schalters auszublenden, vorzugsweise während des Einschaltvorgangs. Der erhöhte Laststrom kann den Schalter nur solange erwärmen, bis die maximal erlaubte Temperatur $T_{M,max}$ erreicht ist und/oder solange die maximal erlaubte Verlustleistung $P_{V,max}$ nicht überschritten ist.

Fig. 5 zeigt eine weitere vorteilhafte Gestaltung der erfindungsgemäßen Anordnung. Hier wird das Temperatursignal T zu einer Variation der Schaltschwelle U_R der Restspannungsüberwachung im Steuerkreis herangezogen. Auf diese Weise kann die durch die Temperaturabhängigkeit des Einschaltwiderstandes $R_{DS,on}$ des Schalters M1 hervorgerufene Variation des Abschaltstromes I_D kompensiert werden.

Als Temperatursensoren sind prinzipiell alle üblicherweise zu diesem Zweck verwendeten Sensoren einsetzbar. Besonders zweckmäßig ist der Einsatz von Transistoren oder Dioden. Eine derartige Schaltungsanordnung ist in Fig. 5 dargestellt. Erfindungsgemäß wird beim Anbringen des Temperatursensors, insbesondere eines Kleinsignal-Bipolartransistors, an einen Temperaturmeßpunkt einer der elektrischen Anschlüsse, welcher montagetechnisch einen sehr guten Wärmeübergang zum Halbleiterkörper des Temperatursensors besitzt, gleichzeitig auch zur thermischen Kopplung des Temperatursensors an den Meßpunkt verwendet. Besonders bevorzugt ist die Anordnung, einen derartigen Kontakt des Sensors mit einem elektrischen Kontakt des Schalters M1 zu verbinden, welcher ebenfalls einen guten Wärmeübergang zum Körper, insbesondere Halbleiterkörper, des Schalters aufweist.

In Fig. 6 ist sowohl ein Leistungs-MOSFET, der als Schalter M1 eingesetzt ist, als auch ein üblicher Kleinsignal-Bipolartransistor Q1 als Temperatursensor dargestellt. Beide Transistoren M1, Q1 weisen einen elektrischen Anschluß mit guter thermischer Kopplung zum jeweiligen Halbleiterkörper auf. Beim Leistungs-MOSFET M1 ist vorzugsweise der Drainanschluß, beim Bipolartransistor Q1 vorzugsweise der Kollektoranschluß dafür ausgewählt. Besonders zweckmäßig ist, den Drainanschluß des MOSFET M1 mit dem Kollektor des Bipolartransistors Q1 zu verbinden.

Die Basis des Transistors Q1 wird auf einem Referenzpotential U_0 gehalten. Über eine an sich bekannte Basiseinrichtung B, vorzugsweise ein Widerstand oder eine Stromquelle, wird ein vorbestimmter Kollektorstrom eingestellt. Die Basis-Emitterspannung U_{BE} des Transistors Q1 dient als Maß für die Temperatur T_M . Vorteilhaft ist, daß die Basis-Emitterspannung U_{BE} nicht nur zur Überwachung der maximal zulässigen Schalter-Temperatur eingesetzt werden kann, sondern zweckmäßigerweise auch zur Beeinflussung der Abschaltschwelle U_R des Steuerkreises der Restspannungsüberwachung. Eine andernfalls auftretende Temperaturabhängigkeit des maximal zulässigen Laststromes $I_{D,max}$ wird dadurch vermieden, so daß bei jeder zulässigen Schaltertemperatur $T_{M,max}$ derselbe maximale Laststrom $I_{D,max}$ im Schalter M1 zulässig ist.

In Fig. 7 ist eine weitere vorteilhafte Schaltungsanordnung mit guter Wärmeankopplung zwischen Temperatursensor Q1 und Schalter M1 dargestellt. Dort ist nicht nur der Kollektor des Transistors Q1 mit dem Drainanschluß des Halbleiterschalter-MOSFETs M1, sondern auch die Basis von Q1 mit dem Source-Anschluß von M1 verbunden. Diese Art der Anordnung des Temperatursensor-Transistors Q1 an den Schalter M1 ist ganz besonders vorteilhaft, wenn der Transistor Q1 nicht als diskretes Bauteil, sondern als parasitäre Struktur auf oder in dem Halbleiterkörper des Schalters M1 verfügbar ist.

Fig. 8 zeigt eine Aufsicht und einen seitlichen Schnitt durch eine vorteilhafte Anordnung von Bauelementen einer Schutzanordnung, die sich besonders für den Einsatz in elektronischen Steuergeräten eignet. Der Schalter M1 und der Temperatursensor 5, insbesondere ein Bipolartransistor Q1, sind als Bauelemente für Oberflächenmontage ausgeführt. Der Schalter M1 im Gehäuse 2 ist mit der Kühlfahne 3, welche insbesondere den Drainanschluß des Schalters M1 darstellt, zumindest mittelbar auf einem Kühlkörper 4 angeordnet, welcher bevorzugt durch eine Platine gebildet wird. Zwischen Kühlkörper 4 und Kühlfahne 3 sind elektrische Kontaktflächen 6, z. B. eine oder mehrere Kupferleiterbahnen, angeordnet. Die Kontaktfläche 6, die mit dem Drainanschluß 3 des MOSFET-Schalters verbunden ist, dient als Wärmespreizer. Der Kollektoranschluß 5.1 des Bipolartransistors Q1 ist nahe der Kühlfahne 3 des Schalters M1 auf der Kontaktfläche 6 angeordnet, vorzugsweise angelötet.

Ganz besonders vorteilhaft ist es, bevorzugt unter Verwendung des Temperatursensors Q1, die Schwellspannung U_R des Steuerkreises unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit des Restwiderstandes $R_{DS,on}$ des Schalters M1 so zu verändern, daß der Schalter bei unterschiedlichen Betriebstemperaturen bei einem vorgegebenen, konstanten Laststrom $I_{D,max}$ abgeschaltet wird.

5 In einem Dimensionierungsbeispiel sind die Vorteile der erfindungsgemäßen Anordnung dargestellt. Die Erfindung ist nicht auf die im Beispiel angegebenen Werte beschränkt.

Bei einem maximalen Einschaltwiderstand des Schalters M1, insbesondere ein Leistungstransistor, von $R_{DS,on,max}=25\text{ m}\Omega$ und einer maximal zulässigen Temperatur der aktiven Zone J, insbesondere einer Sperrschicht, von $T_{J,max}=175^\circ\text{C}$, mit $R_{th,Jc}=1,5\text{ K/W}$ und $R_{th,CA}=25\text{ K/W}$ und der maximal zu erwartenden Umgebungstemperatur von 80°C ergibt sich für eine Schutzanordnung ohne Temperaturüberwachung ein maximal zulässigen Laststrom von $I_{D,max}=12\text{ A}$. Der Schalter wird bei Erreichen dieses Wertes zumindest mittelbar abgeschaltet. Besonders zu beachten ist, daß der maximal zulässige Laststrom $I_{D,max}$ nicht überschritten werden darf.

Wird die erfindungsgemäße Anordnung mit Temperatur- und Restspannungskontrolle unter denselben Randbedingungen überwacht, ist dieser Wert $I_{D,max}$ ebenfalls der maximal erlaubte Dauer-Laststrom des Schalters M1. Mit einer vorgegebenen oberen Schaltertemperatur von $T_{M,max}=125^\circ\text{C}$ und einem äquivalenten Wärmewiderstand $R_{th,JM}=2\text{ K/W}$ ergibt sich jedoch ein weit höherer Wert für einen zulässigen Spitzenstrom von $I_{D,max}=32\text{ A}$. Dieser Laststrom darf kurzzeitig, insbesondere bis zu mehreren Sekunden, im Schalter M1 fließen, ohne daß der Schalter geschädigt wird. Dabei erwärmt sich der Schalter M1, und die Übertemperaturüberwachung schaltet bei Erreichen der maximal erlaubten Schaltertemperatur ab. Über den prinzipiellen Gewinn an Sicherheit hinaus, insbesondere im statischen Fall, bedeutet dies im beschriebenen Beispiel eine um den Faktor 2,5 bessere Ausnutzung des Schalters M1.

Ein weiteres, besonders zweckmäßiges Verfahren zum Überlastschutz von Schaltern kann vorzugsweise bei MOS-FET-Schaltern verwendet werden. Die präzise Messung des Laststroms $I_{D,max}$ erfordert die Einbeziehung der Temperaturabhängigkeit des Einschaltwiderstandes $R_{DS,on}(T_J)$ des Schalters, wobei gilt $I_{D,max}=U_{DS,max}/R_{DS,on}(T_J)$. Über den gesamten Temperaturbereich, in dem das System eingesetzt wird, kann sich dieser Wert um einen Faktor 2–3 ändern. Durch die Erwärmung des Halbleiters ist zwar die Abschaltung bei einer unzulässigen Verlustleistung gewährleistet, jedoch scheitert der Einsatz als elektronische Sicherung an der großen Variation des Laststromes $I_{D,max}$.

Erfindungsgemäß wird die Schaltschwelle U_R durch ein aus der Durchlaßspannung U_{BE} eines thermisch eng mit dem Halbleiterschalter M1 gekoppelten Temperatursensors Q1, vorzugsweise ein Bipolartransistor oder eine Diode, gewonnenes Signal verändert. Dabei wird auf den Schwellwert U_R durch Überlagerung des Temperaturmeßsignals eingewirkt, so daß der Schalter durch Verändern der Schwellspannung U_R unabhängig von der Betriebstemperatur bei einem konstanten Wert des maximalen Laststromes $I_{D,max}$ abgeschaltet wird. Bleibt die Schwellspannung U_R unverändert, wird der Schalter bei mit ansteigender Temperatur steigendem Einschaltwiderstand $R_{DS,on}(T_J)$ zu früh bei einem zu niedrigen Laststrom I_D abgeschaltet.

Die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} eines Bipolartransistors ist in erster, hinreichend guter Näherung linear von der Temperatur abhängig, wobei gilt $U_{BE}(T)=U_{BE}(T_0)-\lambda \cdot (T-T_0)$. T_0 ist eine Referenztemperatur. Fig. 9 verdeutlicht die Qualität dieser Näherung anhand des Vergleichs zwischen typischen Meßwerten der Basis-Emitterspannung $U_{BE}(T)$ eines Bipolartransistors als Funktion der Temperatur und einer Ausgleichsgeraden. $U_{BE}(T)$ sinkt mit steigender Temperatur.

Auch der Temperaturgang des Einschaltwiderstandes eines MOSFETs läßt sich mit ausreichender Genauigkeit durch eine lineare Näherung beschreiben, wobei die Beziehung gilt $R_{DS,on}(T)=R_{DS,on}(T_0) \cdot (1+\alpha \cdot (T-T_0))$. Fig. 10 zeigt die lineare Temperaturabhängigkeit anhand eines Vergleichs von Meßpunkten und Ausgleichsgerade. Der Einschaltwiderstand $R_{DS,on}(T)$ steigt mit steigender Temperatur. Ähnliche Annahmen können auch für andere Bauelemente in hinreichender Genauigkeit getroffen werden.

Da der Einschaltwiderstand $R_{DS,on}(T)$ und damit auch der lastkreisseitige Spannungsabfall U_{DS} am Schalter M1 bei einem konstanten Laststrom I_D mit der Temperatur ansteigt, wird erfindungsgemäß eine zur Temperaturmeßspannung proportionale Spannung im richtigen Verhältnis zur Drain-Source-Spannung hinzuaddiert, um eine konstante Abschalt-schwelle U_R zu erhalten.

In Fig. 11 ist die prinzipielle erfindungsgemäße Schaltungsanordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. Der Schalter M1 wird über eine an sich bekannte Logik L und einen Gatetreiber G, der auch eine Ladungspumpe enthalten kann, angesteuert. Der Bipolartransistor Q1 dient als Temperatursensor. Der Temperatursensor kann dabei sperrschichtnah oder sperrschichtfern zumindest mittelbar am Schalten am Gehäuse, an einem etwaigen Kühlkörper oder einem anderen geeigneten Meßpunkt der Schalteranordnung angeordnet sein. Der Arbeitspunkt des Transistors Q1 wird über eine an sich bekannte Basischaltung B, vorzugsweise eine Konstantstromquelle, und die Basisvorspannungsquelle 11 mit U_0 eingestellt. Statt der Spannungsquelle 11 kann auch eine veränderliche Spannung angelegt werden.

55 Eine Variante ist, die Basis B des Transistors Q1 statt mit der Basisspannung U_0 mit der Source-Elektrode S von M1 zu verbinden. Diese Variante ist nicht in der Figur dargestellt. Die Restspannung am Schalter M1 wird über einen an sich bekannten Spannungsmesser 7, die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} über einen an sich bekannten Spannungsmesser 8 abgegriffen und jeweils mit einem konstanten Faktor k_7 , k_8 bewertet. Bei 7 und 8 handelt es sich im einfachsten Fall um direkte Verbindungen oder Pegelschieber. In einem Addierer 12 werden die Ausgangssignale von 7 und 8 aufsummiert. Der Addierer 12 wird im einfachsten Fall durch einen Widerstand gebildet, an dem zwei Ströme überlagert werden. Ein an sich bekannter Komparator 9 vergleicht das Ausgangssignal mit einer Referenzspannung 10 mit dem Wert U_R . Bei Überschreiten von U_R wird der Leistungsschalter M1 über die Logik L abgeschaltet.

In einem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel ist das Ausgangssignal von 7 und 8 eine Spannung. Die Ausgangsspannung von 8 ist die mit einem Faktor k_8 bewertete Basis-Emitterspannung von Q1 mit

$$U_8=k_8[U_{BE}(T_0)-\lambda \cdot (T-T_0)].$$

Die Restspannung U_{DS} von M1 wird mit einem Faktor k_7 gewichtet, und es gilt

$$U_7 = k_7 [I_D R_{DS, on}(T_0)(\lambda + \alpha(T - T_0))].$$

Mit der für die Referenztemperatur gewünschten maximalen Restspannung $U_{DS, max} = I_D \cdot R_{DS, on}(T_0)$ ergibt sich als Spannungswert U_{12} am Ausgang von 12 folgender Ausdruck

$$U_{12} = k_7 \cdot U_{DS, max} + k_8 \cdot U_{BE}(T_0) + k_7 \cdot U_{DS, max} \cdot \alpha \cdot (T - T_0) \cdot k_8 \cdot \lambda \cdot (T - T_0).$$

Dieser Ausdruck wird dann temperaturunabhängig, wenn gilt

$$(k_7/k_8) = \lambda / (U_{DS, max} \cdot \alpha)$$

Im einfachsten Fall kann k_7 oder k_8 frei gewählt werden, z. B. $k_7 = 1$. Bevorzugt wird ein Parameter, besonders bevorzugt k_7 , so gewählt, daß die Dimensionierung der Beschaltung der Schutzanordnung mit für die Auslegung sinnvollen Werten erfolgen kann. Der andere Parameter ergibt sich entsprechend.

Die Referenzspannungsquelle 10 wird auf

$$U_R = k_8 \cdot (\lambda / \alpha + U_{BE}(T_0))$$

eingestellt.

Dasselbe Ergebnis läßt sich erzielen, wenn das Temperatursignal mit der Referenzspannung U_R für die Abschalt-schwelle addiert wird. In Fig. 12 ist dieses erfindungsgemäße Ausführungsbeispiel dargestellt. Der Ausgang von 8 wird von der Spannung der Spannungsquelle 10 subtrahiert. Das Ergebnis ist das gleiche wie oben beschrieben.

In Fig. 13 ist ein Beispiel zur Beschaltung einer erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung dargestellt. Logik und Gattetreiber U2 werden mit einem üblichen Baustein (z. B. LM9061 der Firma National Semiconductor) realisiert, welcher bereits eine übliche Restspannungsüberwachung enthält. Mit R4 wird die Spannung am Eingang THRE eingestellt. Unterschreitet die Spannung an SENSE diesen Wert, wird der Leistungsschalter M1 abgeschaltet. Zur Temperaturmessung dient erfindungsgemäß der Transistor Q3, der mit R2 und U1A als Stromquelle betrieben wird. Die Rolle von Block 8 aus Fig. 11 übernehmen U1B, Q2 und R5. Block 7 ist nicht explizit ausgeführt, er wird vereinfachend als Verbindung dargestellt. U1C, Q1 und R1 setzen die Spannung an R5 in einen Strom um, der am Widerstand R3 einen proportionalen Spannungsabfall hervorruft. An SENSE liegt die Summe von Restspannung und Temperatursignal an. Auf diese Weise wird der Addierer 12 realisiert. Die Konstanten λ und α ergeben sich aus der Dimensionierung der Widerstände des Beschaltungsbeispiels.

Patentansprüche

1. Steuerbare Schalteinrichtung mit mindestens einem kontaktlosen Schalter, welcher mindestens eine gegen elektrische und/oder thermische Überlast zu schützenden aktive Zone aufweist, wobei die Schalteinrichtung einen Lastkreis und einen Steuerkreis umfaßt und der Steuerkreis Mittel zur Überwachung der Restspannung des Schalters aufweist,

dadurch gekennzeichnet,

daß eine maximal zulässige Restspannung $U_{DS, max}$ des Schalters (M1) nach folgender Beziehung bestimmt wird:

$$U_{DS, max} = \sqrt{(R_{DS, on, max} \cdot (T_{J, max} - T_{M, max}) / R_{th, JM, max}},$$

wobei $U_{DS, max}$ die maximal zulässige Restspannung des Schalters, $T_{J, max} - T_{M, max}$ die Differenz zwischen der maximal zulässigen Temperatur der aktiven Zone oder Zonen (J) des Schalters ($T_{J, max}$) und der zumindest mittelbar an einem an der Schalteinrichtung angeordneten Temperaturmeßpunkt bestimmten maximal zulässigen Bauelementtemperatur ($T_{M, max}$), $R_{th, JM, max}$ der maximale geschätzte oder gemessene Wärmewiderstand zwischen aktiver Zone oder aktiven Zonen (J) des Schalters (M1) und Temperaturmeßpunkt und $R_{DS, on, max}$ der elektrische Einschaltwiderstand des Schalters (M1) bei der maximal zulässigen Bauelementtemperatur ($T_{M, max}$) ist, und daß beim Überschreiten der maximal zulässigen Restspannung eine Meldung und/oder Schutzmaßnahmen zur Abschaltung des Laststroms auslösbar sind.

2. Schalteinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schalteinrichtung sowohl Mittel zur Messung der elektrischen Restspannung (U_{DS}) als auch Mittel zur Messung der Temperatur (T_M) des Schalters an einem Temperaturmeßpunkt aufweist.

3. Schalteinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Schalteinrichtung durch die Mittel zur Messung der elektrischen Restspannung (U_{DS}) als auch der Temperatur (T_M) des Schalters steuerbar und bei Überschreiten eines maximalen elektrischen Restspannung ($U_{DS, max}$) und/oder einer maximalen Temperatur ($T_{M, max}$) am Temperaturmeßpunkt zumindest mittelbar ab schaltbar ist.

4. Schalteinrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel zur Messung der Temperatur des Schalters (M1) zumindest mittelbar in Gehäusenähe (2, 3) angeordnet sind.

5. Schalteinrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Messung der Temperatur (T_M) als temperatursensitiven Teil mindestens einen Transistor (Q1) aufweisen.

6. Schalteinrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Messung der Temperatur (T_M) als temperatursensitiven Teil mindestens eine Diode (Q1) aufweisen.

7. Schalteinrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Messung der Temperatur (T_M) als temperatursensitiven Teil mindestens einen Transistor und/oder eine Diode (Q1) aufweisen, welcher mit einer seiner elektrischen Anschlüsse sowohl elektrisch als auch thermisch zumindest mittelbar an den Schalter (M1) gekoppelt ist.

8. Schalteinrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Schalter (M1) durch einen MOSFET gebildet ist

9. Schalteinrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Kollektoranschluß des Transistors (Q1) oder ein Anschluß der Diode mit dem Drainanschluß des MOSFET (M1) thermisch und elektrisch verbunden ist.

10. Schalteinrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Kollektoranschluß des Transistors (Q1) oder ein erster Anschluß der Diode mit dem Drainanschluß des MOSFET (M1) und die Basis des Transistors (Q1) oder ein zweiter Anschluß der Diode mit dem Sourceanschluß des MOSFET (M1) thermisch und elektrisch verbunden ist.

11. Schalteinrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schalteinrichtung (M1) ein Bauelement mit einer Schwellspannung (U_R), bei deren Überschreitung der Schalter (M1) zumindest mittelbar abschaltbar ist sowie ein Transistorbauelement (Q1) mit einer Basis-Emitterspannung (U_{BE}) aufweist, wobei die Schwellspannung U_R proportional zur Basis-Emitterspannung (U_{BE}) veränderbar ist.

12. Verfahren zum Betreiben einer steuerbaren Schalteinrichtung mit mindestens einem, eine gegen elektrische und/oder thermische Überlast zu schützenden aktive Zone J aufweisenden Schalter, wobei die Schalteinrichtung einen Lastkreis und einen Steuerkreis umfaßt und im Steuerkreis Mittel zur Überwachung der Restspannung des Schalters angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß der Schalter bei Überschreiten einer vorgegebenen Spannung ($U_{DS,max}$) und/oder bei Überschreiten einer vorgegebenen maximalen Schaltertemperatur ($T_{M,max}$) zumindest mittelbar abgeschaltet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltschwelle des Steuerkreises so dimensioniert wird, daß bei Überschreiten einer maximalen Spannung ($U_{DS,max}$) der Schalter zumindest mittelbar abgeschaltet wird und für die maximale Spannung ($U_{DS,max}$) die Vorschrift gilt

$$U_{DS,max} = \sqrt{(R_{DS,on,max} \cdot (T_{J,max} - T_{M,max}) / R_{th,JM,max})},$$

wobei ($T_{J,max} - T_{M,max}$) die Temperaturdifferenz zwischen aktiver Zone (J) des Schalters (M1) und einem Temperaturmeßpunkt, $R_{th,JM,max}$ der geschätzte oder gemessene maximale Wärmewiderstand zwischen aktiver Zone (J) und Temperaturmeßpunkt und $R_{DS,on,max}$ der Einschaltwiderstand bei einer maximal zulässigen Schaltertemperatur $T_{M,max}$ ist.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltertemperatur (T_M) sperrschichtfern, insbesondere gehäusenah, gemessen wird.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche 12–14, dadurch gekennzeichnet, daß die Bauelementtemperatur (T_M) mit einem Transistor (Q1) gemessen wird, der mit mindestens einem elektrischen Anschluß sowohl elektrisch als auch thermisch zumindest mittelbar an mindestens eine elektrische Kontaktfläche der Schalteinrichtung (M1, 6) gekoppelt ist.

16. Anordnung zum Messen einer Bauelementtemperatur, bei welcher der Temperatursensor durch einen Transistor oder eine Diode gebildet ist, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens einer der elektrischen Anschlüsse des Temperatursensors (Q1) sowohl elektrisch als auch thermisch mit mindestens einem elektrischen Anschluß des Bauelements verbunden ist.

17. Anordnung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauelement durch einen MOSFET gebildet ist.

18. Anordnung nach Anspruch 16 und 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Kollektor des Transistors mit dem Drain des MOSFET sowohl thermisch als auch elektrisch verbunden ist.

19. Anordnung nach Anspruch 16 und 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Kollektor des Transistors mit dem Drain des MOSFET und die Basis des Transistors mit der Source des MOSFET sowohl thermisch als auch elektrisch verbunden ist.

20. Anordnung nach Anspruch 16 und 17, dadurch gekennzeichnet, daß ein Anschluß der Diode mit dem Drain des MOSFET sowohl thermisch als auch elektrisch verbunden ist.

21. Verfahren zum Betreiben einer steuerbaren Schalteinrichtung mit mindestens einem, eine gegen elektrische und/oder thermische Überlast zu schützenden aktive Zone aufweisenden Schalter, wobei die Schalteinrichtung einen Lastkreis und einen Steuerkreis umfaßt und im Steuerkreis Mittel zur Überwachung der Restspannung des Schalters angeordnet sind, welche bei Erreichen einer Schaltschwelle abgeschaltet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur des Schalters mit mindestens einem Transistor oder mit mindestens einer Diode (Q1) gemessen wird und die Schaltschwelle (U_R) proportional zur temperaturabhängigen Änderung der Durchlaßspannung des Transistors oder der Diode verändert wird.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltschwelle nach der Beziehung $U_R = k_g((\lambda/\alpha) + U_{BE}(T_0))$ verändert wird, wobei α die Steigung der zumindest bereichsweise linearisierten Kennlinie des Einschaltwiderstandes des Schalters in Abhängigkeit der Temperatur, λ die Steigung der zumindest bereichsweise linearisierten Kennlinie der Durchlaßspannung U_{BE} des Transistors oder der Diode (Q1) in Abhängigkeit der Temperatur und k_g eine Konstante ist.

23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Schalter (M1) bei unterschiedlichen Temperaturen bei demselben Wert des vorher vorgegebenen maximal zulässigen Laststroms ($I_{D,max}$) abgeschaltet wird.

24. Verfahren nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, daß ein MOSFET als Schalter (M1) verwendet wird.

25. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche 21–24, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur an einer Sperrschicht des MOSFET zumindest mittelbar gemessen wird.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

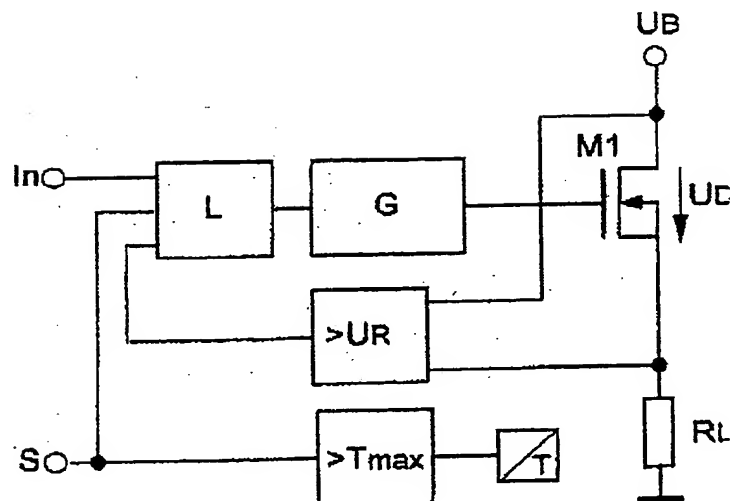


Fig 1

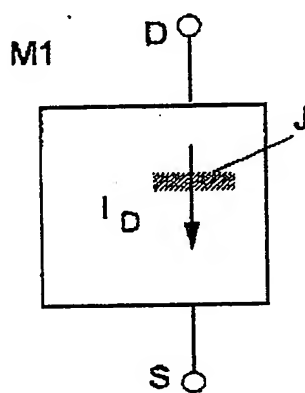


Fig 2

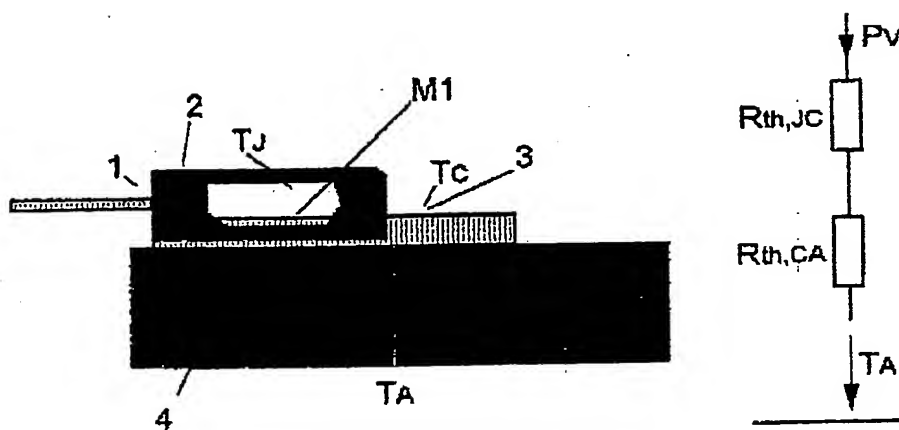


Fig 3

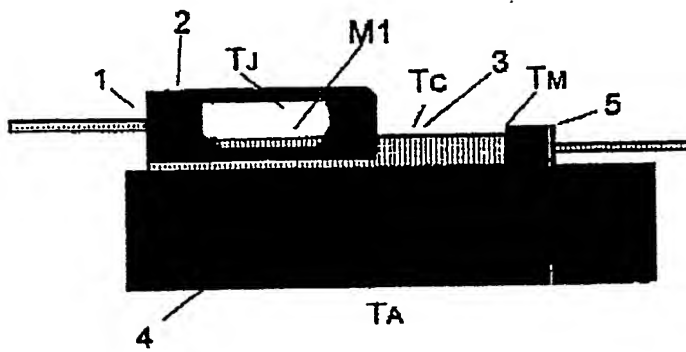


Fig 4

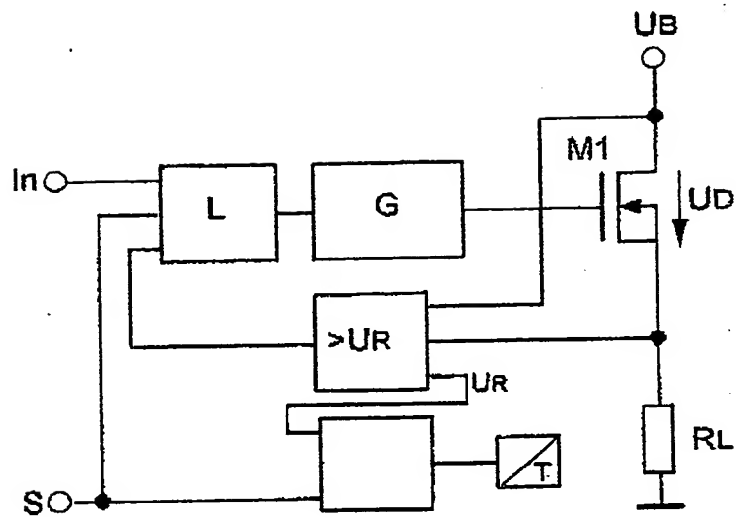
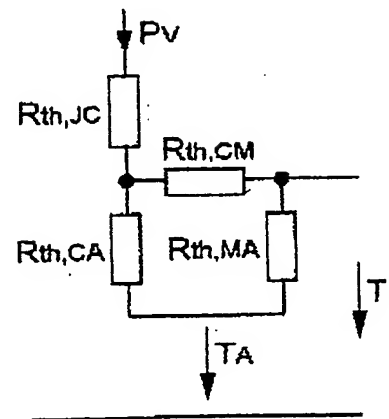


Fig 5

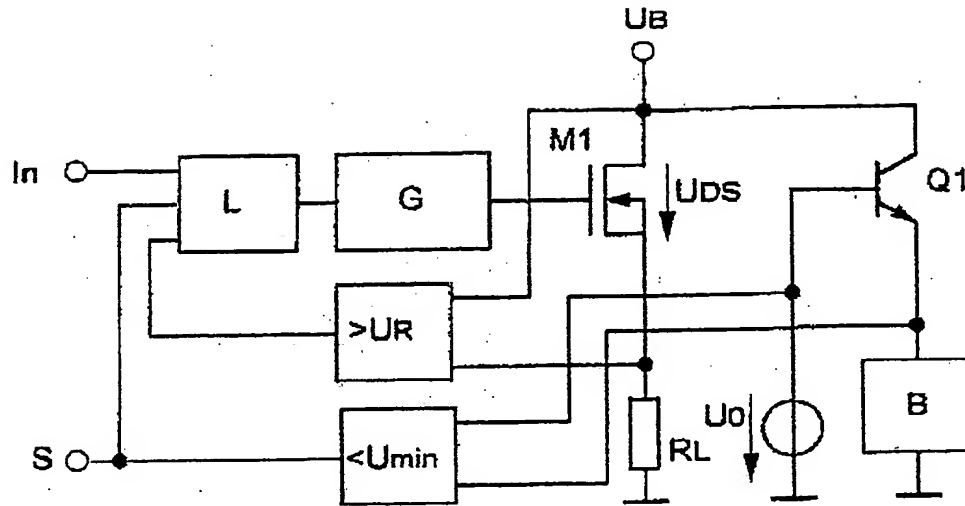


Fig 6

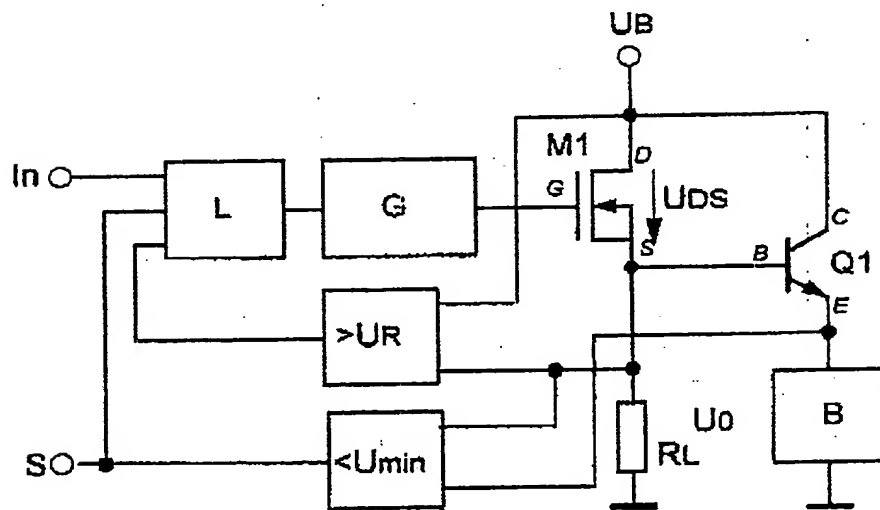


Fig 7

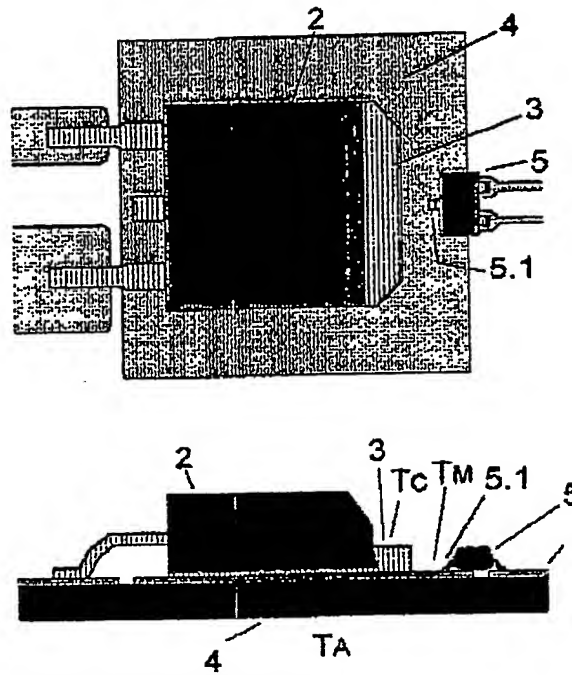


Fig 8

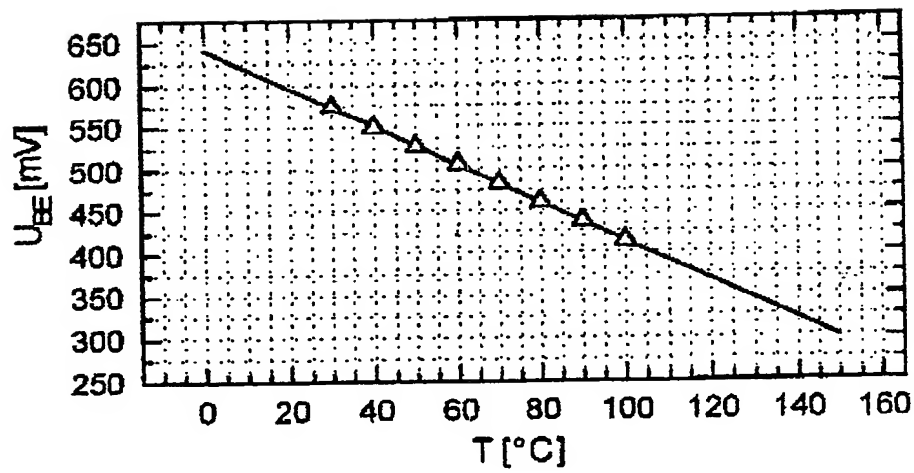


Fig 9

Nummer:
Int. Cl. 6:
Offenlegungstag:

DE 197 04 861 A1
H03 K 17/08
27. August 1998

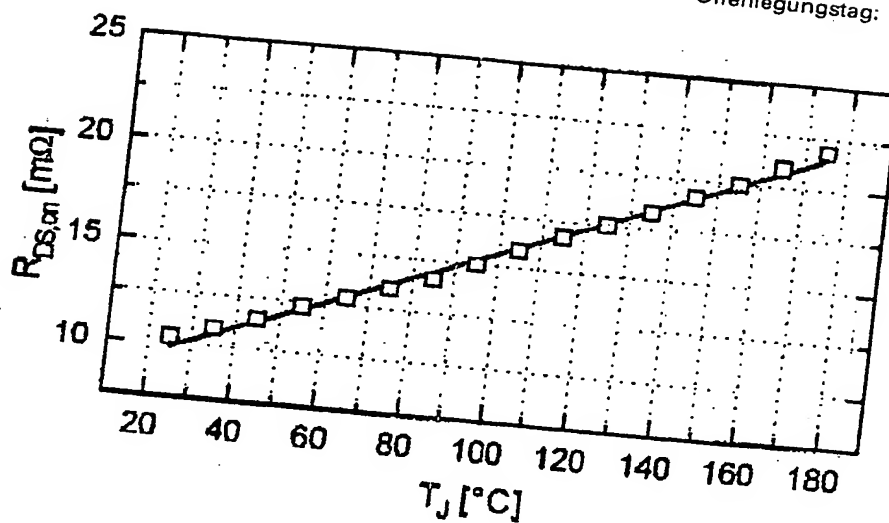


Fig 10

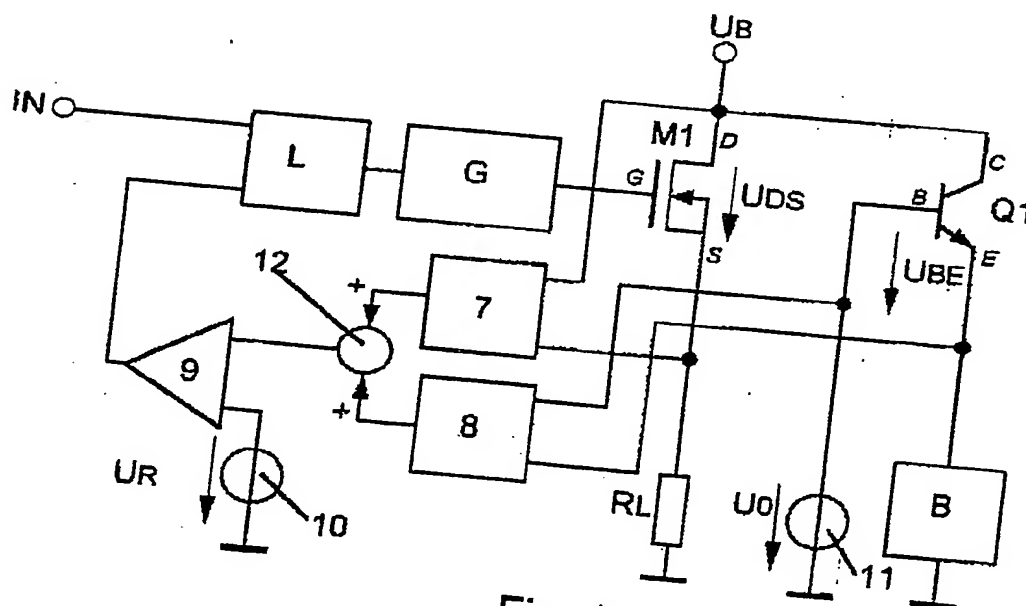


Fig. 11

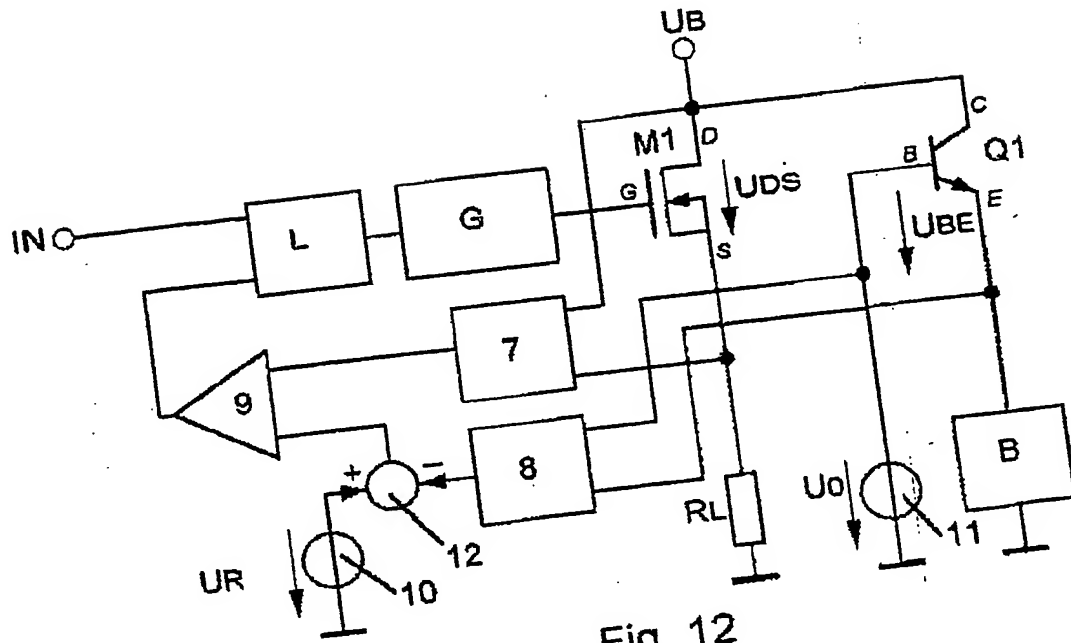


Fig. 12

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)